

设备润滑基础

SHEBEI RUNHUA JICHU

冶金工业出版社

設備潤滑基礎

《設備潤滑基礎》编写組 編

冶金工業出版社

内 容 简 介

全书内容共分八章；第一章是摩擦、磨损、润滑——重点介绍了摩擦、磨损、润滑的类型、作用原理及基本理论知识；第二章是润滑材料——阐述了常用润滑油、润滑脂、固体润滑剂和添加剂的种类、性能特点及用途等；第三章是润滑元件及装置——论述了稀油和干油润滑元件中的单体润滑装置、贮存油液装置（油箱）、供油装置（油泵）、清净过滤装置（滤油器、分油器）、热交换装置（冷却器）、油路控制元件（阀类）、供润滑脂装置（干油润滑站）、油和脂的定量分配装置（注油器和给油器）及检查保护装置等的功用、类型、结构、工作原理、优缺点、性能指标和有关参数、故障原因分析及处理，每种装置都画有详图或工作原理示意图。第四章介绍了稀油、干油、油雾、干油喷射、轧钢工艺润滑等的集中润滑系统，包括它们的系统要求、组成、工作原理、操作维护特点及有关的设计计算和设计计算举例；第五章介绍了典型零部件的润滑，包括滑动轴承、滚动轴承、齿轮传动、齿形联轴器、轧钢机主联轴器、油膜轴承、钢丝绳等有代表性的典型零部件的润滑要求、特点、润滑剂的选择原则、润滑周期和润滑剂的消耗量等；第六章扼要地介绍了通用设备的润滑，包括汽车、蒸汽机车、桥式起重机、风机、空气压缩机、水泵、大电机、皮带机、金属切削机床、锻锤、变压器等的润滑；第七章叙述了润滑设备的安装维修，包括了润滑设备的安装工作程序、安装工作的准备和组织，润滑设备安装过程中的清洗、调整、试车、投产、安装施工中可能发生的问题及处理方法等及润滑设备的日常维护、定期检查、修理和现场润滑工作的有效管理；第八章重点介绍了润滑油、脂的质量鉴别方法，润滑油脂的贮存、保管、运输和再生。书末附录提供了部分国内外润滑油品的对照及有关表格。

本书可供有关工厂、科研设计单位、机械施工部门的工程技术人员使用；工科大专院校师生、有一定文化基础知识的工人均可参考。

设 备 润 滑 基 础

《设备润滑基础》编写组 编

*

冶金工业出版社出版

（北京灯市口74号）

新华书店北京发行所发行

山西新华印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 29 $\frac{3}{4}$ 字数 710 千字

1982年9月第一版 1982年9月第一次印刷

印数00,001~8,800册

统一书号：15062·3827 定价3.10元

前 言

随着我国工业生产的发展，人们迫切要求提高生产过程的机械化、自动化水平。为此，一些新技术、新工艺、新设备在钢铁工业中获得更加广泛的应用。原有的一些设备，正在力图通过挖潜、革新、改造的途径，发挥现有设备的生产潜力，提高生产能力，延长设备使用寿命，为“四化”建设生产品种更多、质量更好、用途对路的物质产品。因此，对机械设备的使用提出了更高的要求。

冶金机械及各种重型机械设备的工作条件是十分苛刻的。它具有重载、高速、高温、多尘、多腐蚀性介质和连续作业等特点。要确保设备正常运转，必须加强设备的日常维护和管理。而机械设备的良好润滑是设备维护管理工作中极为重要的一环。实践证明：搞好设备润滑，对于控制摩擦、降低磨损、延长设备运行周期、预防事故、降低备件消耗、提高设备完好率、节约能源都是十分必要的。

为了维护好现有设备，使之能安全可靠地进行生产，不断提高设备作业率，宣传和普及润滑技术知识是当前工业生产中一件十分重要的工作。为此，在冶金工业部钢铁司领导下，由部属有关企业的同志组成了编写组，编写了《设备润滑基础》一书。

编写组成员由北京钢铁学院陈田才副教授和武汉钢铁公司夏顺明工程师主编。编写组成员有赵蕙、王绍璞、李自力、张名宇。

在编写过程中，得到石油化工科学研究院、太原矿山机器厂液压润滑研究室，以及全国许多钢铁企业的大力支持和热情帮助。同时还得到王奎、葛志祺、陈玉环、袁少志、高乃祥、王文琪等同志的大力协助。在此，仅向上述单位及有关同志表示衷心感谢。

由于我们的水平有限，书中不足之处在所难免，望广大读者批评指正。

《设备润滑基础》编写组

1981年5月

目 录

第一章 摩擦、磨损与润滑	1
第一节 摩擦	1
一、概述	1
二、摩擦的类型	1
第二节 磨 损	7
一、磨损的三个阶段	7
二、常见的磨损类型	8
三、影响磨损的因素	11
第三节 润 滑	13
一、润滑的作用	13
二、润滑的分类	14
三、润滑原理	15
第二章 润滑材料	31
第一节 润滑油	31
一、润滑油的制取过程	31
二、润滑油的质量指标及其使用上的意义	32
三、常用润滑油的性能和用途	38
第二节 润滑脂	30
一、概述	30
二、润滑脂的质量指标及其使用上的意义	61
三、几种常用的润滑脂	63
第三节 添加剂	70
一、清净分散剂	70
二、抗氧剂	71
三、增粘剂	71
四、油性添加剂	71
五、极压添加剂	71
六、防锈添加剂	72
七、降凝剂	72
八、抗泡剂	72
九、抗氧抗腐添加剂	72
第四节 固体润滑剂	74
一、固体润滑剂的优缺点	74
二、对固体润滑剂的要求	74
三、固体润滑剂的种类	75
四、固体润滑剂的使用方法	89
五、几种固体润滑的具体应用	91
第三章 润滑元件和装置	98
第一节 单体润滑装置	98

一、油环	98
二、油杯	100
三、油枪	100
第二节 贮存油液的装置——油箱	108
第三节 供油装置——油泵	111
一、齿轮油泵装置	113
二、回转活塞油泵及其装置	123
三、叶片油泵	131
四、螺杆油泵	138
五、摆线转子泵	143
六、自吸离心泵	147
第四节 清净过滤装置	147
一、滤油器的作用及要求	147
二、滤油器的过滤精度	149
三、滤油器的类型	150
四、干油过滤器	161
五、几种过滤器的比较	161
六、过滤器的安装和使用	162
七、净油机 (JYJ-25型)	163
第五节 热交换装置	170
一、降低油温的装置——冷却器	170
二、加热润滑油的装置	175
第六节 油路控制元件——阀类	178
一、安全阀	178
二、单向阀	179
三、压力操纵阀 (压力控制阀)	180
四、电动四通阀	181
第七节 供润滑脂的装置	183
一、手动干油站	183
二、电动干油站	185
三、风动干油站	191
四、多点干油泵	194
五、单线电动加油泵及单线电动加油泵小车	202
六、向干油泵站加油的装置	203
第八节 注油器和给油器	212
一、注油器	212
二、给油器	219
第九节 检查、保护装置	230
一、油面检查装置	230
二、油流检查装置	231
第四章 润滑系统和集中润滑系统的设计计算	240
第一节 稀油集中润滑系统	240

一、概述	240
二、回转活塞泵供油的集中循环润滑系统	241
三、齿轮油泵供油的循环润滑系统	245
四、几种国外的稀油润滑站系统	251
第二节 稀油集中润滑系统的设计计算	259
一、稀油集中润滑系统设计计算的任务和步骤	259
二、稀油集中润滑系统设计计算步骤	260
三、稀油集中润滑系统设计计算举例	280
第三节 干油(润滑脂)润滑系统	284
一、概述	284
二、干油集中润滑系统的分类	284
三、手动干油集中润滑站	286
四、自动干油集中润滑系统	286
五、单线供脂的干油集中润滑系统	291
六、多点干油泵与单线片式给油器联合使用的干油集中润滑系统	292
第四节 干油集中润滑系统的设计计算	293
一、设计步骤	293
二、按设计步骤进行设计计算	293
三、干油集中润滑系统输脂管路液压损失计算举例	299
第五节 油雾润滑系统	300
一、概述	300
二、油雾润滑系统的组成及工作原理	301
三、油雾润滑装置的操作与调整	305
四、油雾润滑系统的选择计算	307
五、油雾润滑装置的安装与维护	310
第六节 干油喷射润滑系统	314
一、性能和用途	314
二、结构与工作原理	314
三、干油喷射润滑装置的安装	316
四、干油喷射润滑系统的操作与维护	317
第七节 轧钢工艺润滑	318
一、轧钢工艺润滑的意义	318
二、冷轧工艺润滑剂	319
三、冷轧工艺润滑系统	320
第五章 典型零部件的润滑	334
第一节 滑动轴承的润滑	334
一、滑动轴承的特性	334
二、滑动轴承的分类	335
三、滑动轴承对润滑油的要求	335
四、滑动轴承用润滑油的选择	335
五、滑动轴承的润滑制度及润滑油消耗量	339
六、滑动轴承用润滑脂的选择	341

七、滑动轴承的润滑脂耗用量及润滑制度	342
八、合成树脂布胶轴承的润滑	343
九、液体静压轴承的润滑	344
第二节 滚动轴承的润滑	347
一、滚动轴承对润滑油的要求和选用油、脂润滑的一般原则	348
二、滚动轴承用油润滑时润滑方式的选择	349
三、滚动轴承润滑油的选择	349
四、滚动轴承用油的消耗量及润滑制度	352
五、滚动轴承润滑脂的选择	352
六、滚动轴承润滑脂的消耗量及润滑制度	352
七、轧钢机轧辊滚动轴承的润滑	356
第三节 齿轮传动装置的润滑	356
一、齿轮的润滑原理	356
二、润滑对齿轮传动的作用和影响	359
三、冶金机械齿轮的工作特点	363
四、冶金机械的齿轮对润滑油的要求	363
五、齿轮传动润滑方式的选择	365
六、齿轮传动润滑油品的选择	366
第四节 齿形联轴器的润滑	370
第五节 轧钢机主联轴器的润滑	372
一、轧钢机主联轴器的工作条件	372
二、轧钢机主联轴器的润滑方法	372
第六节 轧钢机油膜轴承的润滑	373
一、油膜轴承简介	373
二、油膜轴承润滑系统概述	375
三、润滑系统的冲洗程序	373
四、测定供油量	379
五、油膜轴承的静压润滑	380
六、油膜轴承用的润滑油	381
第七节 钢丝绳的润滑	381
第六章 通用设备的润滑	385
第一节 汽车的润滑	385
一、CA10B 型解放牌汽车根据不同润滑间隔期,需润滑的部位	385
二、汽车后桥齿轮箱的固体润滑	387
三、发动机的润滑及其润滑剂	388
第二节 蒸汽机车的润滑	389
一、蒸汽机车的主要润滑部位	389
二、机车润滑工作的注意事项	391
第三节 桥式起重机的润滑	392
第四节 风机的润滑	393
第五节 空气压缩机的润滑	393
第六节 水泵的润滑	394

第七节 大型电机轴承的润滑	395
第八节 皮带机的润滑	396
第九节 金属切削机床的润滑	396
一、机床的一般润滑制度	397
二、机床的润滑指示图表	397
第十节 锻锤的润滑	405
第十一节 变压器用油	405
第七章 润滑设备的安装及维修	408
第一节 润滑设备的安装	408
一、安装准备工作	408
二、润滑设备的安装	409
三、润滑管道的安装	411
四、润滑设备、配件及管道系统的清洗	415
五、装入生产用油及试压	419
六、润滑站及润滑系统的调整、试运转、投入生产	420
七、管道外表面刷油漆	421
八、施工中可能发生的问题及处理方法	421
第二节 润滑设备的维修	421
一、润滑设备的日常维护	422
二、润滑设备的定期检查	422
三、润滑设备的修理	423
四、润滑工作的管理	428
第八章 润滑油脂的质量鉴别方法、贮存、保管、运输及再生	430
第一节 润滑油脂的简易鉴别方法	430
一、润滑脂的质量简易鉴别方法	430
二、润滑油的质量简易鉴别方法	430
第二节 润滑脂的变质和处理	431
第三节 润滑油脂的贮存和保管	431
第四节 润滑油、脂的再生	432
一、润滑油老化变质的再生工艺	433
二、再生润滑油产品	436
三、废润滑脂再生	437
附 录	440
附表 1 运动粘度与恩氏粘度换算表	440
附表 2 粘度换算表	442
附表 3 几种油料的参考比重	443
附表 4 部分油品恩氏粘度在50°C和100°C时的近似对照表	443
附表 5 常用润滑油在50°C和100°C时的运动粘度与恩氏粘度的近似换算表	443
附表 6 国内外标准代号意义	444
附表 7 常用润滑油的产品配比	444
附表 8 新旧油品名称对照表	445

附表 9	几种油料的闪点和自燃点	446
附表10	石油成品计量单位换算	446
附表11	体积单位换算表	446
附表12	重量单位换算表	446
附表13	压力单位换算表	446
附表14	美国工业齿轮油粘度分类(AGMA分类)	447
附表15	美国石油学会(API)对齿轮油的分类	447
附表16	美国GL-4、5、6 齿轮油的对应标准	447
附表17	美国工业齿轮油规格	448
附表18	日本齿轮油标准(JISK2219)	449
附表19	粘度指数计算基数表	450
附表20-1	国内外工业齿轮油对照表	452
附表20-2	国内外汽车后桥和变速箱齿轮油对照表	452
附表20-3	国内外汽轮机(透平)油对照表	453
附表20-4	国内外内燃机油对照表	453
附表20-5	国内外船舶内燃机油对照表	454
附表20-6	国内外精密机床油对照表	455
附表20-7	国内外抗燃液压油对照表	456
附表20-8	国内外抗磨液压油对照表	456
附表20-9	国内外低凝液压油对照表	457
附表20-10	国内外液力传动油和刹车油对照表	457
附表20-11	国内外一般工业润滑脂对照表	458
附表20-12	国内外工业用高级润滑脂对照表	459
附表20-13	国内外车辆用润滑脂对照表	460
附表21	国外部分塑料基复合材料品种	462
附图 1	粘度换算图	463
附图 2	粘度换算图	463
附图 3	粘度指数换算图	464
附图 4	粘度指数换算图	464
附图 5	粘度指数换算图	465
附图 6	粘度指数换算图	465
附图 7	粘度指数换算图	465
参考文献		466

第一章 摩擦、磨损与润滑

第一节 摩 擦

一、概述

相互接触的物体，在接触面间产生的阻止物体相对运动的现象称为摩擦。由于摩擦而产生的阻力，称为摩擦力。

我们可以观察在机械运动中产生的摩擦，同时存在着摩擦力、摩擦热和磨损三个现象。其中：

摩擦力属于运动副的一种力学特性；

摩擦热是能量转换的一种形式；

磨损是摩擦表面物质转移的一种形式。

在机械运动中，发生相对运动的零件或部件统称为运动副。如轴与轴承、齿轮啮合、平面导轨、链杆与铰链、蜗杆与蜗轮、链条与链轮、凸轮与顶杆、皮带传动等。这些运动副在相对运动的同时都会发生摩擦，因此我们也称这些运动副为摩擦副。

摩擦是自然界普遍存在的现象，对人们的生活和生产都有着重要的作用。如古代燧人氏利用摩擦生热钻木取火；人们利用摩擦振动使提琴、胡琴发音。有了摩擦人们才能走路，汽车、火车才能行驶等等。某些机械利用摩擦力来传递动力和运动，如摩擦压力机、摩擦离合器、摩擦轮、皮带传动等。但是，摩擦力也有它有害的方面，它对某些机械运动副起不良作用。主要是：

1) 消耗大量的功能。如机床导轨、轴承副、齿轮副等，由于摩擦的存在，需要消耗大量的能去做功来克服摩擦阻力，因此，降低了机械效率。工程上用来克服摩擦力而消耗的无用功占输入功率的一定比例。在冶金机械中，估计有10~15%甚至更多的动力源是用来克服摩擦损失的。

2) 摩擦副严重磨损。由于摩擦表面的直接接触，零件表面产生严重磨损。降低机械的运转精度、间隙变大、出现振动和噪音，不仅影响机械的正常运转，同时还缩短了机械的寿命。

3) 产生热量。根据能量不灭的原则，机械运动时因克服摩擦而消耗的那部分能量转变成热量散发出来。其中一部分热量随机械金属表面散到周围大气中去；另一部分热量来不及散除就会使机械温度升高，降低机械强度，甚至产生热变形、热疲劳、热磨损，导致破坏机件精度，影响机械正常运转。特别是在要求运动灵敏度高的部位，如数控机床的导轨、丝杠螺母、测量仪器等，热变形更会影响机械的工作精度和寿命。

摩擦会导致磨损，最终将破坏机械的正常运转，这是一个客观规律。但是，只要我们认真研究和了解摩擦、磨损的现象和本质，并采取相应的措施，就能达到控制摩擦、降低或减缓磨损，延长机器零件使用寿命的目的。

二、摩擦的类型

摩擦的类型很多。因为研究和观察的依据不同，所以摩擦的分类也不同。常见的分类

有以下两种。

1. 按摩擦是发生在两运动物体的接触面, 还是发生在物体内部分类

(1) 外摩擦

相互接触的物体作相对运动时, 在接触面上发生的摩擦称为外摩擦。如无油润滑压缩机中用自润滑材料制成的活塞环与气缸壁之间的摩擦; 轴颈与轴瓦之间没有任何润滑剂的摩擦; 起重机车轮与钢轨之间的摩擦等, 都属于外摩擦。

(2) 内摩擦

同一物体内部分子间运动时发生的摩擦称为内摩擦。如各种流体(包括气体、液体)分子间的摩擦; 润滑油膜分子间的摩擦, 在金属塑性变形时分子间的摩擦以及加入摩擦副中的固体润滑材料二硫化钼分子间的摩擦, 都属于内摩擦。

液体摩擦也是一种内摩擦。从理论上讲, 运动副在液体摩擦条件下是没有机械磨损的。其界面间有一层连续的油膜, 这层油膜具有足够的厚度和强度, 能承受一定的载荷。

液体摩擦时, 摩擦力的大小按下式计算:

$$F = \frac{\mu S v}{h} = \frac{\nu \rho S v}{h}, \text{ 公斤力} \quad (1-1)$$

式中 F —— 液体摩擦力, 公斤力;

μ —— 润滑油的动力粘度, 或 $\mu = \nu \rho$, 公斤力·秒/米²;

ν —— 润滑油的运动粘度, 米²/秒;

ρ —— 润滑油的密度, 公斤力·秒/米⁴;

S —— 摩擦副之间的接触面积, 米²;

v —— 摩擦表面的运动速度, 米/秒;

h —— 润滑油膜的厚度, 米。

由式 1-1 可知, 当润滑油的粘度增大, 摩擦副的运动速度增高, 摩擦副的接触面积增大或油膜厚度减薄, 则液体摩擦阻力就增大。反之当润滑油的粘度减小, 运动速度降低, 摩擦接触面积减小或油膜厚度增厚, 则液体摩擦力就减小。因为摩擦副的表面已完全被润滑油膜分隔开, 所以液体摩擦阻力与摩擦表面的状态和材料无关。

通常, 液体摩擦系数很小。它随液体介质的性质不同而异, 大约在 0.01~0.001。因此, 摩擦阻力大为减少, 消耗的能量也相应降低。

冶金设备中的动压油膜轴承、静压轴承、动静压轴承, 都属于液体摩擦, 即内摩擦。

(3) 混合摩擦

在运动副中既有内摩擦又有外摩擦时, 称为混合摩擦。许多设备的摩擦副, 在作相对运动时, 大都属于混合摩擦的类型。混合摩擦包括: 边界摩擦、半干摩擦、半液体摩擦以及极压状态下金属化学膜的摩擦等。其中:

1) 边界摩擦是液体摩擦过渡到干摩擦(摩擦副表面直接接触)过程之前的临界状态, 或是最后界限。这时, 摩擦表面仅有一层吸附着的极薄的润滑膜, 约为 0.1 微米或更薄。边界摩擦与润滑油的粘度关系不大, 而与润滑油的表面吸附性(油性)有关。由于两摩擦表面在运动中直接接触, 所以有一定程度的机械磨损。

2) 半液体摩擦油膜是不连续的, 摩擦表面同时存在液体摩擦和边界摩擦。

3) 半干摩擦是在摩擦表面同时存在干摩擦和边界摩擦的情况。

4) 极压摩擦是在极压条件下, 润滑油中的添加剂里的活性物质与摩擦副金属表面起化学反应生成一层低剪切抗力的金属盐类, 如硫化铁、磷化铁等金属化学膜, 介于摩擦副接触面之间, 当摩擦副在极压状态下运动时, 即表现为混合摩擦。

2. 按机械摩擦副的运动形式分类

(1) 滑动摩擦

两个相接触的物体表面, 在相对滑动时产生的摩擦称为滑动摩擦。阻碍物体滑动的阻力, 就是滑动摩擦阻力, 简称摩擦力。

滑动摩擦又分为静滑动摩擦和动滑动摩擦两种。

静滑动摩擦。两个相互接触并相对静止的物体, 虽尚未滑动但有相对滑动的趋势, 这时的摩擦称为静滑动摩擦。这时的摩擦阻力称为静滑动摩擦力。我们研究两个互相接触而有滑动趋势的物体 (图 1-1 a), 若物体 A 放在水平台 B 上, 因物体 A 无滑动趋势, 故无摩擦力产生。所以平面 B 对物体 A 的反力 $\vec{N}$ 沿接触面的公法线与重力 $\vec{Q}$ 相平衡。如图 1-1 b 所示, 若将绳子的一端接在物体 A 上, 另一端绕过滑轮悬挂一个重物 P , 当作用在物体 A 上的水平拉力 $\vec{P}$ 逐渐增加, 而其大小尚未达到某一个数值时, 物体是静止不动的。此时, 平面对物体的反力, 除正反力 $\vec{N}$ 外, 还有一个沿接触面的水平力 $\vec{F}$ 。力 $\vec{F}$ 与力 $\vec{P}$ 大小相等, 方向相反。力 $\vec{F}$ 的大小随力 $\vec{P}$ 的增加而增加, 而且在物体未开始运动前总是 $F = P$, 物体处于平衡状态。这时的力 $\vec{F}$ 称为静滑动摩擦阻力, 简称静摩擦力。当物体即将开始滑动 (但尚未滑动) 时, 摩擦力已达到它的最大值, 这个最大值称为最大静摩擦力, 用 $\vec{F}_{max}$ 表示。由此可知, 使物体保持静止平衡的摩擦力 $\vec{F}$, 可以是介于零与最大静摩擦力 $\vec{F}_{max}$ 之间的任何数值, 即

$$0 \leq F \leq F_{max}$$

当力 $\vec{F}$ 达到最大值 F_{max} 时, 若稍微增加拉力 $\vec{P}$, 物体的静止平衡状态就将被破坏, 物体 A 开始滑动。

通过大量实验得知, 静滑动摩擦定律如下:

静摩擦力 $\vec{F}$ 的方向与运动趋势的方向相反;

静摩擦力 $\vec{F}$ 小于或等于最大静摩擦力 $\vec{F}_{max}$ 即 $\vec{F} \leq \vec{F}_{max}$;

最大静摩擦力与正压力 $\vec{N}$ 成正比, 即

$$F_{max} = f N \quad (1-2)$$

式中 f ——比例系数, 称为静滑动摩擦系数。

静滑动摩擦系数 f 的大小与接触面的材料和情况 (如表面光洁度、润滑条件、温度和湿度、接触时间等) 有关。一般说来, 表面越粗糙、润滑条件越差, 则摩擦系数 f 就越大, 最大静摩擦力也就越大。

摩擦系数 f 的数值, 可由一般的机械工程手册中查得。其接触面上阻止物体滑动的切向阻力, 称为动滑动摩擦阻力, 简称动摩擦力。在各种机械中, 转动轴与滑动轴承之间、

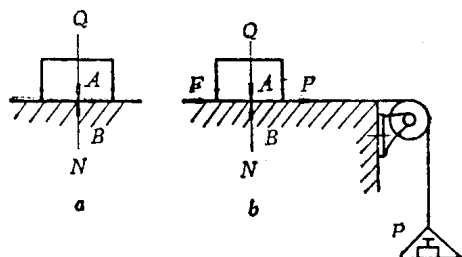


图 1-1 静滑动摩擦
a—无滑动时; b—滑动时

机床工作台与导轨之间、制动器的制动块与制动轮之间等等，都是动滑动摩擦。

通过大量实验得知，动滑动摩擦定律如下：

动摩擦力 $\vec{F}'$ 的方向与运动方向相反；

动摩擦力 $\vec{F}'$ 小于最大静摩擦力 $\vec{F}_{\max}$ ，即 $\vec{F}' < \vec{F}_{\max}$ ；

动摩擦力 $\vec{F}'$ 与正压力 $\vec{N}$ 成正比，即

$$F' = f' N \quad (1-3)$$

式中 f' ——比例系数，称为动摩擦系数。

动摩擦系数 f' 的大小，除与接触面的材料、表面光洁度、润滑条件、温度和湿度等有关外，还与物体运动的速度有关。 f' 的数值也可由有关手册查得或实验测得。

一般来说，物体由静止而运动，必须克服最大静摩擦力 $\vec{F}_{\max}$ ，此时应运用静摩擦定律来解决问题。但是，在制动和夹紧时，物体由运动到静止，这时只要克服动摩擦力 $\vec{F}'$ 就行。此时应运用动摩擦定律来解决问题。一般情况是动摩擦系数 f' 小于静摩擦系数 f 。这表明要使物体由静止状态到开始滑动，要克服最大静摩擦力 $\vec{F}_{\max}$ 。但在发生滑动以后，要保持物体继续滑动，只要克服动摩擦力 $\vec{F}'$ ($F' < F_{\max}$) 就行了，所以比较省力。

关于材料的摩擦系数见表 1-1。

材 料 的 摩 擦 系 数

表 1-1

材料名称	摩擦系数- <i>f</i>				材料名称	摩擦系数- <i>f</i>			
	静 摩 擦		动 摩 擦			静 摩 擦		动 摩 擦	
	无润滑	有润滑	无润滑	有润滑		无润滑	有润滑	无润滑	有润滑
钢—钢	0.15	0.1~0.12	0.15	0.05~0.1	软钢—榆木			0.25	
钢—软木			0.2	0.1~0.2	铸铁—榿木	0.65		0.3~0.5	0.2
钢—铸铁	0.3		0.18	0.05~0.15	铸铁—榆杨木			0.4	0.1
钢—青铜	0.15	0.1~0.15	0.15	0.1~0.15	青铜—榿木	0.6		0.3	
软钢—铸铁	0.2		0.18	0.05~0.15	木材—木材	0.4~0.6	0.1	0.2~0.5	0.07~0.15
软钢—青铜	0.2		0.18	0.07~0.15	皮革(外)—榿木	0.6		0.3~0.5	
铸铁—铸铁		0.18	0.15	0.07~0.12	皮革(内)—榿木	0.4		0.3~0.4	
铸铁—青铜			0.15~0.2	0.07~0.15	皮革—铸铁	0.3~0.5	0.15	0.6	0.15
青铜—青铜		0.1	0.2	0.07~0.1	橡皮—铸铁			0.8	0.5
软钢—榿木	0.6	0.12	0.4~0.6	0.1	麻绳—榿木	0.8		0.5	

(2) 滚动摩擦

两个相接触的物体在滚动时产生的摩擦称为滚动摩擦。滚动摩擦时，其接触处常常表现为点与点（如球形滚动轴承）或线与线（如圆柱滚子轴承）的摩擦。纯滚动摩擦时两物体接触处没有相对滑动。

滚动摩擦比滑动摩擦省力。如图 1-2 所示，当我们移动笨重的物体时，若在底面垫上数根圆棍，推起来就会省力得多。在机器中使用的滚动轴承，各种车辆的车轮在路面上的滚动，起重机大车轮在钢轨

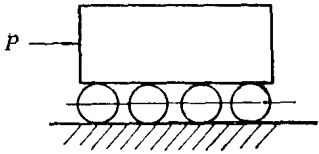


图 1-2 滚动摩擦

上滚动等都是运用滚动摩擦来节省能量提高工作效率的。

物体在滚动时有一个阻碍滚动的阻力偶，称为滚动摩擦力偶。

在水平台上放置一个承受垂直载荷 G 的滚子（图 1-3 a），倘若无其他力作用，则滚子将在垂直力 G 和光滑支承面的法线反力

N 的作用下完全处于平衡状态。若滚子中心 O 有水平力 P 作用（图 1-3 b），则平台对滚子有法线反力 N 和摩擦力 F 作用。摩擦力 F 一方面阻碍滚子滑动，另一方面又与 P 组成一对力偶使滚子按顺时针滚动。从图 1-3 b 可以看出，滚子所受的 4 个力不是平衡力系。若接触处非常平滑没有摩擦，那么不管水平力 P 多么小，滚子都要滚动。但是这与实际情况不符。事实表明，当力 P 不够大时，滚子仍保持平衡不滚动也不滑动。从不滑动这一点来说，这是因为滚子与支承面间存在着滑动摩擦力 F 。由图 1-3 c 分析，滚子和光滑水平台面都不是绝对的刚体，所以当滚子受力后，滚子与台面在接触处都要产生变形（就好象车轮在路面上的变形一样），这种变形影响了支承反力在接触处的分布情况。这时的总反力 R 并不通过滚子的

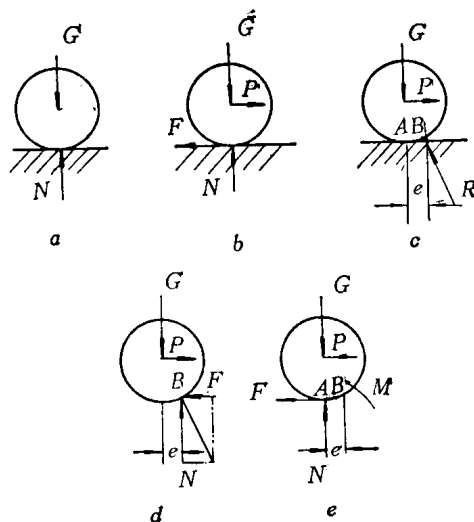


图 1-3 放在平台上的滚子的滚动摩擦受力分析

a—无外力作用；b—有水平力作用；
c—总反力移动距离；d—总反力分解；
e—形成力偶

最低点 A ，而是沿滚动的方向向前移动了一小段距离 e （到了 B 点）。我们把作用在 B 点的总反力 R 分解为正反力 N 和摩擦力 F （即正反力 N 与摩擦力 F 的合力就是总反力 R （见图 1-3 d））。由此看出，由水平力 P 与摩擦力 F 组成的力偶没能使滚子顺时针滚动，这是因为存在着反力 N 与垂直力 G 组成的一个反时针方向的力偶，阻碍着滚子的滚动，这两个力偶互相平衡。所以，当 P 力不够大时，滚子是不滚动的。从图 1-3 e 可见，若把反力 N 向滚子最低点 A 平移，根据力学中力线平移定理可知，反力 N 向 A 点平移后，产生了一个附加力偶，其力偶矩 M 为

$$M = Ne \quad \text{公斤} \cdot \text{厘米} \quad (1-4)$$

这个阻碍滚子滚动的力偶矩就称为滚动摩擦力矩。

当滚子未发生滚动（处于平衡时）时，从图 1-3 e 可知，若滚动力矩等于水平力 P 对于滚子最低点 A 的滚动力矩，即

$$M = Pr \quad \text{公斤} \cdot \text{厘米}$$

虽然滚子仍处于平衡状态，但有滚动的趋势。这种趋势随着水平力 P 的增加而增加，直到滚动力矩增加到使滚子将要开始滚动的某一临界值 M_{max} 。此后 P 力的任何微小增加，都将导致滚子由静止的平衡状态开始滚动。可见滚动摩擦力矩有一个临界值，这个临界状态的最大值就称为最大滚动摩擦力矩 M_{max} 。它与前面所述的最大滑动摩擦力 F_{max} 具有类似的意义。

滚动摩擦力矩 M 的转向与滚动方向相反，它起阻碍滚动的作用。当滚动体平衡时

$$M \leq M_{\max}$$

最大滚动摩擦力矩 $M_{\max}$ 与法线反力 N 成正比。

$$\text{即 } M_{\max} \propto N \text{ 或 } M_{\max} = \delta N \quad (1-5)$$

式中 δ ——比例系数又称为滚动摩擦系数,其单位用毫米或厘米表示。

它是总反力 R 的作用点 B 到滚子最低点 A 的最大距离 $e_{\max}$, 即 $\delta = e_{\max}$ 。 δ 与材料的性质, 尤其是与材料刚度有明显关系。当材料硬一些, 如轮胎的气足, 路面又比较硬, 则车轮与路面的变形就小些, 因而 δ 也就小些。相反, 倘若材料软些, 如轮胎的气不足, 路面又很软, 则车轮与路面的变形就大些, 因而 δ 也就大些。所以把轮胎的气打足, 公路采用水泥路面以增加硬度, 减少滚动摩擦系数 δ , 从而减小滚动摩擦力矩 M , 以便于行车。

一般常用的滚动摩擦系数见表 1-2。

滚 动 摩 擦 系 数

表 1-2

相摩擦或相接触的材料	滚动摩擦系数 δ , 毫米	相摩擦或相接触的材料	滚动摩擦系数 δ , 毫米
铸铁与铸铁	0.05	有滚珠轴承的料车与钢轨	0.09
钢质车轮与钢轨	0.5	无滚珠轴承的料车与钢轨	0.21
木材与钢	0.3~0.4	钢质车轮与木面	1.5~2.5
木材与木材	0.5~0.8	轮胎与路面	2~1
软木与软木	1.5	淬火钢与淬火钢	0.01
软钢与钢	0.05	钢板间的滚子 (梁的活动支座) 按表面情况	0.2~0.7

由公式 1-5 可知, 最大滚动摩擦力矩 $M_{\max}$ 只与法线反力 N 和总反力 R 的作用点 B 到滚子最低点 A 的距离 $e_{\max}$ 有关, 而与滚动体的半径无关。滚动摩擦系数还与滚动速度和滚动体表面的状况 (表面粗糙度)、几何形状、材料的刚性等有关。

从理论上讲, 两相对滚动物体在一点上接触 (如球体在平面上) 或在一线上接触 (如圆柱滚子在平面上) 可以理解为纯粹滚动, 见图 1-4 a、b。

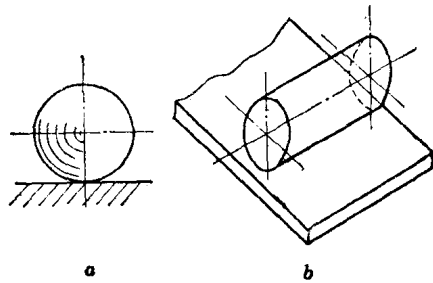


图 1-4 球体和滚柱在光滑平板上的滚动
a—球体在平面上, b—圆柱体在平面上

实际上两相对滚动的物体, 由于相对滚动体的材料不可能是绝对刚体, 所以, 在相互接触区域就会产生变形。这种变形包括了弹性变形、塑性变形, 因此接触区域就不可能如理论上阐述的那样是一个点或一条线的接触, 而是在一定尺寸范围内面积的接触。从宏观来看, 接触区域的面积是曲面, 不可能或很少是平面; 从微观来看, 接触区域不是整个曲面都互相接触, 而是在这个接触区域内的某些点的接触。其接触点的疏密、多寡随材料性质、表面状况及接触条件的不同而不同。因此, 在整个滚动过程中, 除了极少数点适合于理论要求的条件而外, 不可能出现纯粹的滚动。而是不规则的滚动、滑动、弹性变形和某些局部塑性变形兼有的复杂过程。

第二节 磨 损

两个相互接触的物体作相对运动时，物体表面的物质不断转移和损失，这种现象称为磨损。磨损的结果，使两相对运动的物体接触表面不断的有微粒脱落，表面性质、几何尺寸发生改变。

机件的磨损可能是正常的（自然的）磨损，或是意外的（过早的、突然的或事故的）磨损。

一、磨损的三个阶段

1. 正常的（自然的）磨损

虽然机械摩擦表面大多数用润滑剂来润滑，但是，不可能在机械表面上永远保持一层润滑油膜而将金属完全分隔开。例如，当机械刚启动时，在零件的摩擦表面上还没有形成油膜，这时就会发生金属之间的直接接触。因此，不可避免的要发生磨损，这种磨损称为机械的正常磨损。正常磨损的强度，决定于机器的构造性能，机件在工作中的技术条件和操作方法。正常磨损的结果，通常是发生机件尺寸的变化，或是机件的结合部位间隙增大。

2. 意外的(过早的或事故的)
磨损

机件在工作期内，因发生过早的磨损会提前损坏，或因机件产生缺陷造成强烈的破坏事故。一般情况是润滑不良会引起机件工作不正常。有时磨损虽在允许范围内，但磨损速度却迅速的增长，缩短机械工作寿命（周期），最后机件剧烈损坏造成事故。

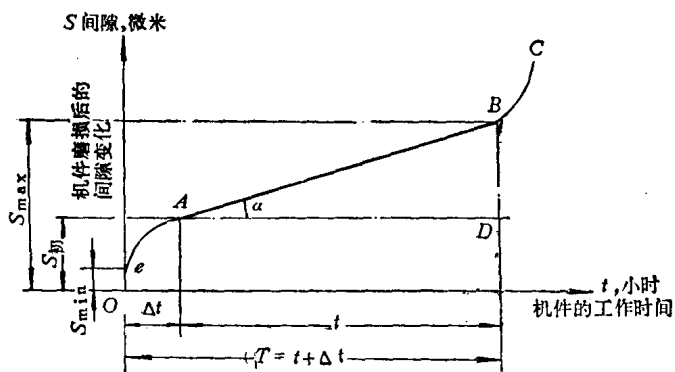


图 1-5 磨损的三个阶段

冶金厂机械设备的工作特点

是：高温、重负荷、冲击性突加载荷多、生产要求连续性、工作环境恶劣、铁末、尘屑、水汽、腐蚀性介质多，并不断受到化学的或电化学的作用。因此，极易引起机件的显著的磨损。

通常，运动副的磨损过程可分为三个阶段（图 1-5）。

(1) 初期磨损阶段

零件（摩擦副）由于制造和安装误差的影响，机件在运转初期磨损速度较快，并有轻微的振动、噪音和发热，这个阶段的磨损称为初期磨损。初期磨损阶段是设备通过运转自行调整（磨合）的过程。经过跑合使磨损速度变慢，逐渐接近于稳定磨损阶段。在初期磨损阶段常常使用一些跑合剂（如二硫化钼粉、金刚砂等），以缩短跑合周期延长稳定磨损阶段，这对提高机械寿命有很大的意义。

(2) 稳定磨损阶段

在这个阶段，磨损速度是比较缓慢和恒定的，在磨损量与时间关系的曲线上，具有基本不变的斜率。通常机械寿命的长短就是指这一阶段时间的长短。